

# 公路沉降问题的质量修复及预防性养护措施

叶斌

310228\*\*\*\*\*2812

**摘要:** 公路沉降是威胁道路安全、耐久性与服务功能的核心病害之一,其成因复杂,涉及地质、材料、施工、环境及排水系统等多个方面。针对已发生的沉降,需依据沉降深度、范围及路段特殊性,采取差异化的修复技术;而更为关键的是构建贯穿设计、施工及运营全周期的预防性养护体系,通过源头控制与过程管理,最大限度地延缓或避免沉降发生。本文系统分析了公路沉降的主要成因,综述了当前主流的浅层、深层及特殊路段修复技术,并重点阐述了从设计优化、施工精细化管理到运营期系统监测与维护的综合性预防策略,以期为我国公路工程的耐久性提升与全生命周期成本控制提供理论参考与实践指导。

**关键词:** 公路沉降;成因分析;修复技术;预防性养护;全周期管理;排水系统

**DOI:** 10.69979/3060-8767.26.03.059

## 引言

公路作为现代交通运输网络的动脉,其服役性能直接关系到经济发展效率与公共安全。然而,在长期运营过程中,受多种内外部因素耦合作用,路基路面常出现不均匀沉降病害,导致路面平整度下降、结构开裂、承载力减弱,严重时甚至引发交通事故。沉降问题不仅大幅增加后期的维修养护成本,更对道路的长期耐久性与可靠性构成严峻挑战。因此,深入剖析沉降产生的内在机理,科学选用有效的修复技术以恢复道路功能,并构建一套 proactive 的预防性养护体系,变“被动修复”为“主动防控”,已成为公路工程领域一项重大而紧迫的课题。本文旨在整合现有研究成果与工程实践经验,对公路沉降问题的成因、修复及预防进行系统论述,以形成一套逻辑连贯、操作性强的技术与管理框架。

## 1 公路沉降问题的成因分析

公路沉降并非单一因素所致,而是地质条件、工程材料、施工质量、自然环境及排水系统等多因素交织、共同作用的结果。

### 1.1 地质条件因素

地质条件是沉降产生的物质基础与内在诱因。不良地质地段,如软土、湿陷性黄土、膨胀土、可溶岩(喀斯特)地区以及人工回填土区域,其土体自身强度低、压缩性高、遇水易发生性状剧变。例如,软土地基在路堤荷载下会产生显著的固结沉降与次固结沉降;湿陷性黄土在浸水后结构迅速破坏,产生突发性大幅沉降;膨胀土则因含水量变化而反复胀缩,导致路基失稳。

### 1.2 材料与施工因素

材料与施工因素是决定路基路面初始质量与长期稳定性的关键人为环节。若填筑材料质量不合格,如粒径级配不良、含水率控制不当,或采用了不适应的土源,将直接导致压实度不足、路基不均匀<sup>[1]</sup>。施工过程中的质量控制缺陷,如分层填筑厚度过大、压实遍数不足或工艺不当、新旧路基结合部处理不到位、特殊地基处治不彻底(如清淤不净、换填深度不足、桩基施工质量差等),都会在路基中埋下隐患,在荷载与环境作用下逐步显现为沉降。

### 1.3 自然环境因素

自然环境因素是触发或加速沉降的外部驱动力。水是最活跃的因素,大气降水、地表径流、地下水位升降将持续改变路基土的含水量与孔隙水压力,削弱土体强度,在冻融地区,季节性冻胀与春融翻浆更是导致路面周期性不均匀沉降的直接原因。此外,长期的重载交通动荷载,远超设计标准的车辆轴载,会对路基产生累积塑性变形。

### 1.4 排水系统失效

排水系统的失效往往是沉降发生的“最后一根稻草”。完整高效的排水系统旨在拦截、疏干危害路基稳定的水体,然而,一旦边沟、排水沟、截水沟、盲沟、渗沟等设施因设计不当、施工缺陷或养护疏漏而堵塞、淤积、破损,将导致水无法及时排除,长期滞留或下渗入路基内部,软化土体,抬高地下水位,极大地加剧上述各类不利因素的作用,最终诱发或加速沉降病害。综上,公路沉降是“先天不足”、“后天失调”与“环境侵袭”共同作用下的复杂产物。

## 2 公路沉降质量修复技术

针对已发生的公路沉降,需根据沉降的深度、范围、发展状态以及路段的功能特殊性,遵循“检测评估-方案比选-精准实施”的原则,选择经济、高效、可靠的修复技术。

### 2.1 浅层沉降修复

对于浅层沉降,主要指路基上部或路面结构层内发生的沉降,深度通常较浅,对路基整体稳定性影响相对较小。常用的修复技术包括:一是局部挖补与换填,即开挖沉降区域至稳定层,回填并压实优质材料,此法直接有效,适用于小范围、界限清晰的沉降<sup>[2]</sup>。二是注浆加固技术,通过向路基土体中压入水泥浆、水泥-水玻璃双液浆或化学浆液,充填孔隙、胶结土粒,提高土体强度与模量,控制沉降发展,适用于土体松散、空洞或不均匀沉降区域。三是抬升技术,如路基注浆抬升和路面薄层罩面调平,前者通过压力注浆在路基下部形成抬升力,精准恢复路面高程,后者则是在已沉降的路面上加铺沥青混合料找平层,快速恢复平整度,但需考虑路面标高提升对沿线设施的影响。此外,浅层沉降修复后还需进行短期的沉降观测和路面性能跟踪,及时发现并处理可能出现的二次沉降或早期损坏,确保修复效果的长期稳定性。

### 2.2 深层沉降修复

对于深层沉降,通常涉及路基下部或地基的严重压缩与变形,处理更为复杂。主要技术包括:

在复合地基加固法的应用中,需根据地质条件、荷载要求及施工条件选择适宜的桩型。水泥搅拌桩适用于淤泥质土、黏性土等软土地基,通过特制搅拌机械将水泥等固化剂与土强制搅拌,形成具有一定强度的桩体;旋喷桩则借助高压喷射流切割搅拌土体并注入浆液,形成直径较大的柱状固结体,可用于处理砂类土、黏性土、碎石土等多种地层。碎石桩通过振动或冲击成孔后填入碎石,依靠桩体的置换、挤密和排水作用提高地基承载力,常用于松散砂土或杂填土地基;CFG桩(水泥粉煤灰碎石桩)则是由水泥、粉煤灰、碎石、石屑或砂加水拌和形成的高黏结强度桩,与桩间土、褥垫层一起构成复合地基,承载力高且经济适用。施工时需严格控制桩长、桩径、桩间距及成桩质量,通过静载试验等方式验证复合地基承载力是否满足设计要求,同时注意桩体与桩间土的协调变形,避免出现应力集中现象。

强夯与冲击碾压技术的关键在于合理确定夯击能量、夯点布置、夯击遍数及间歇时间。强夯法一般采用

大吨位夯锤(10-40t)从高处(6-30m)自由落下,对地基土施加巨大冲击能,使土体产生强制压缩、振密或液化后再固结,适用于处理碎石土、砂土、低饱和度的粉土与黏性土、湿陷性黄土等。冲击碾压则是利用冲击压路机的多边形滚轮,通过快速滚动产生的冲击能对土体进行深层压实,具有影响深度大、施工效率高的特点,常用于路基填筑后的补压、旧路升级改造中的地基处理等。施工前需进行试夯或试碾,确定最佳施工参数,施工过程中应监测地面沉降量、夯沉量及地基土的物理力学性质变化,确保达到预期加固效果,同时需采取措施减少施工振动对周边建筑物及环境的影响。

预压排水固结法中,堆载预压通过分级施加荷载(如填土、砂袋等),使地基土在附加应力作用下排水固结;真空预压则是在地基表面铺设密封膜,利用真空泵抽气形成负压,将土中孔隙水排出,二者联合使用可加速固结进程,缩短工期。该方法的核心在于排水系统的设置,排水板(砂井)需穿透软土层至硬土层,确保排水路径畅通,砂垫层则起到水平排水通道的作用。施工中需严格控制预压荷载的施加速率,防止地基发生失稳破坏,同时监测孔隙水压力、沉降速率及侧向位移,根据监测数据调整预压方案。对于工期要求较紧的工程,可采用超载预压,通过施加超过设计荷载的预压量,使地基在预压期内完成大部分沉降,卸载后地基回弹量小,能有效保证路面结构的长期稳定性。深层沉降修复完成后,需进行长期的沉降观测,评估修复效果的持续性,并根据观测结果及时调整后续的养护策略。

### 2.3 特殊路段修复

对于桥头跳车、高填方路段、半填半挖结合部等特殊路段,其沉降机理与影响更为突出,需采取针对性修复。桥头跳车主要源于台背路基与桥台的差异沉降,修复重点是加固台背路基,可采用高强度、低压缩性的材料(如级配碎石、水泥稳定料)进行换填,或采用注浆、高压旋喷桩等技术加固;同时,设置完善的搭板和过渡性路面结构以平顺过渡<sup>[3]</sup>。高填方路段沉降体量大、持续时间长,除采用强夯、冲击碾压确保压实度外,后期可采用边坡锚固(锚杆、锚索框架梁)、坡脚反压护道或设置抗滑桩等措施增强整体稳定性。半填半挖结合部的不均匀沉降修复,关键在于加强结合部的处理,如开挖台阶、铺设土工格栅等加筋材料、采用冲击压实增强衔接密实度,并确保填挖区排水系统的顺畅衔接。

## 3 预防性养护措施体系

相较于事后的修复,建立并实施一套贯穿公路全生

命周期的预防性养护体系,是从根本上遏制沉降、延长道路使用寿命、降低全周期成本的战略性举措。该体系应涵盖设计、施工及运营三个阶段。

### 3.1 设计阶段预防

在设计阶段,预防的核心在于精准勘察与科学设计。必须进行详尽的地质与水文地质勘察,探明软土、不良土质的分布、厚度与性质,为地基处治方案提供可靠依据。设计上,应依据交通荷载预测、地质条件及环境因素,采用合理的路基断面形式、填料要求与压实标准。对于不良地质路段,必须进行专项地基处理设计,如采用复合地基、预压排水等方案,并预留充分的工后沉降期。排水系统的设计尤为重要,需形成完整、多层次、防渗性好的综合排水网络,包括地表排水、路基内部排水与地下水排除设施,并充分考虑极端天气条件下的排水能力。此外,在易沉降的特殊路段(如桥头、高填方),应预设加强措施,如过渡段设计、加筋技术应用等。

### 3.2 施工阶段控制

在施工阶段,控制的核心在于精细化过程管理,确保设计意图的完美实现。关键在于严格控制填料质量与压实工艺,确保每一层填筑的厚度、含水率、压实度均符合设计要求,特别要加强对路基边部、台背、结合部等薄弱环节的压实质量控制。对于地基处理工程(如桩基、预压),必须进行全过程监控,确保施工参数达标、处理深度到位<sup>[4]</sup>。排水设施的施工质量直接决定其未来效用,必须保证沟渠断面尺寸、纵坡、排水层材料与过滤层设置、管道连接与防渗处理等符合设计规范。同时,应埋设必要的沉降观测仪器(如沉降板、测斜管),从施工期开始进行系统监测,为后续评估提供数据基础。

### 3.3 运营期养护

在运营期养护,预防的核心在于系统监测与及时维护。建立并坚持执行定期的路况巡查与检测制度,利用路面平整度仪、探地雷达、水准测量等手段,动态监控路基路面沉降、变形发展情况,尤其关注特殊路段与历史病害点。对沉降监测数据进行分析,评估沉降发展趋势,为养护决策提供预警。日常养护的重点是保持排水系统的绝对畅通,定期清理疏通所有边沟、涵洞、泄水

孔,修复破损的排水设施,这是成本最低、效益最高的预防措施。对于出现的早期轻微不均匀沉降或裂缝,应及时采用灌缝、封层、微表处等养护手段进行处理,防止水分下渗加剧病害。当监测数据表明沉降有加速趋势或达到预警阈值时,应及时启动专家评估,考虑采取前文所述的注浆加固等预防性修复干预,防止小病变大灾。通过设计、施工、运营三个阶段环环相扣的预防性措施集成,方能构筑起应对公路沉降问题的坚固防线。

## 4 结语

公路沉降问题是一个贯穿勘察、设计、施工、运营全过程的系统工程挑战。对其有效治理,需秉持“防治结合,以防为主”的理念。一方面,要基于对地质、材料、施工、水毁及荷载等致沉因素的系统认知,针对沉降的不同发展阶段与部位,合理选用从浅层挖补、注浆到深层复合地基加固等修复技术,以恢复道路结构功能与安全。另一方面,也是更为根本的,是构建并严格落实覆盖公路全生命周期的预防性养护体系:在设计源头进行优化与强化,在施工过程实现精细化质量控制,在运营阶段强化系统监测与主动性维护,尤其保障排水系统这一“生命线”的长效功能。唯有将科学的修复技术与前瞻性的预防策略深度融合,才能最大限度地提升我国公路基础设施的耐久性、安全性与经济性,实现其可持续发展。未来,随着智能传感、大数据分析及新型材料技术的进步,公路沉降的实时智能监测与精准防控能力必将进一步提升,推动公路养护管理向更智慧、更高效的方向发展。

### 参考文献

- [1] 胡海铭. 公路沉降问题的质量修复及预防性养护措施[J]. 散装水泥, 2025, (06): 55-57.
- [2] 李罕. 高速公路沉降病害修复养护中微型桩的应用[J]. 中国公路, 2025, (08): 102-104.
- [3] 牛娅军. 公路工程质量修复及预防性养护研究[J]. 工程技术研究, 2025, 10(02): 138-140.
- [4] 赵谔笛, 李锦平, 曾广群, 等. 温差对隧道洞口地表沉降影响的监测分析研究[J]. 建筑技术开发, 2025, 52(01): 87-90.